

## 〈資料〉

### 屋外ばくろ試験による集成材の接着耐久性評価 (第4報) 屋外ばくろ5年後の結果

柳川靖夫・宮崎祐子・和田 博

#### Evaluation of bonding durability of glued laminated timbers with outdoor exposure test(IV) Results obtained after five years outdoor exposure

Yasuo YANAGAWA・Yuko MIYAZAKI and Hiroshi WADA

2種類の木材保存剤 (ACQ、AZP) で処理したラミナを、2種類の接着剤 (レゾルシノール系樹脂接着剤、水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤) で接着して作製した、5プライのスギ集成材の屋外ばくろ試験を実施している。ばくろ5年後のせん断試験の結果、ACQ処理-レゾルシノール系樹脂接着剤の組み合わせで、せん断強度が低下する傾向が認められた。他の組み合わせおよび木材保存剤で処理しなかったスギ集成材では、その傾向が観察されなかったことから、ACQの影響によるものと推測された。木材保護塗料は、木材の表面劣化を抑止するには効果的であった。しかし、木材保護塗料を2年ごとに塗布した場合であっても、ACQ処理-レゾルシノール系樹脂接着剤の組み合わせでは、接着はく離が発生するなど、接着強度の低下が観察された。ばくろ3年後までは、いずれの集成材でもほぼ100%であった木部破断率は、ばくろ5年後において低下した。しかし、木部破断率とせん断強度との間に相関は認められなかった。深木部破断率は、ACQ処理-レゾルシノール系樹脂接着剤の組み合わせでより低い値を示し、この組み合わせでは接着層界面近辺での破壊発生が増加することが示唆された。

## 1. はじめに

木材の用途が拡大するに伴い、木橋や商業施設、事務所あるいは体育館等の建築構造物を中心として、木材が屋外環境下で使用される事例が増加している。これらの構造用部材には、主として集成材が使用されており、雨水や日光に曝されることから、木材保存剤 (以下薬剤とする) による処理が推奨される。集成材への薬剤処理は、①集成材製造後に薬剤を加圧注入する、②ラミナへ薬剤を加圧注入した後に接着して集成材を製造する、の2手法が実施されている。②は断面の大きな集成材等で採用され、部材内部にも薬剤が存在するため、耐久性がより高いとされている。しかし、薬剤が木材の接着性能に影響を及ぼすことが報告されている<sup>1-3)</sup> ことから、薬剤と接着剤との組み合わせに配慮が必要となる。それらを適切に組み合わせるためには、薬剤で処理されたラミナを使用した集成材の接着耐久性を、短期間で予測する手法を確立する必要がある。

当センターでは、平成11年より2種類の薬剤と2種類の接着剤とを組み合わせで作製した、スギ集成材の屋外ばくろ試験を実施するとともに、小試験片を使用した

促進劣化処理 (減圧加圧試験)、および小試験片を使用した屋外ばくろ試験を実施している<sup>4-6)</sup>。最終的にはこれらの試験結果を関連付けて、短期間で集成材の接着耐久性を評価する方法を確立することを目指している。本報告では、ばくろ5年後の結果を報告する。

## 2. 材料および方法

### 2.1 ばくろ5年後のせん断試験

屋外ばくろ試験に供したスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don)集成材の内容、および採取した試験片数を表1に示す。

接着剤は、フェノール・レゾルシノール共縮合樹脂接着剤 ((株)アイカPR-10、以下PRF接着剤とする)、および水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤 (光洋産業 (株) KR-7800、以下API接着剤とする) を使用した。薬剤は、第四級アンモニウム化合物系 ((株) コシブ レザービング製マイトレックACQ、以下ACQとする)、およびアゾール化合物系 ((株) エス・ディー・エスバ イオテック製SB-150ME、以下AZPとする) を使用した。また、薬剤で処理しなかったスギ集成材 (以下薬剤無処

表1 屋外ばくろ試験に使用したスギ集成材の種類と採取した試験片数

木材保存剤 <sup>1)</sup>	ACQ			AZP			無処理	
接着剤 <sup>2)</sup>				PRF, API				
積層数				5				
断面寸法	110×110mm			110×110mm			105×105mm	
密度 <sup>3)</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	0.32~0.51			0.31~0.49			0.31~0.50	
木材保護塗料の塗布条件 <sup>4)</sup>	2年	開始時	無	2年	開始時	無	2年	無
試験体数	3	3	2	3	3	2	2	2
採取試験片数	27	27	18	27	27	18	18	18
試験接着層数	108	108	72	108	108	72	72	72

注：1)：ACQ：銅・アルキルアモニウム化合物系。 AZP：プロピルピコノス・アゾール化合物系。 無処理：木材保存剤で処理せず。

2)：PRF：フェノール・レゾルソール共縮合樹脂接着剤。 API：水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤。

3)：ばくろ開始前の値。 4)：2年：2年ごとに塗布， 開始時：ばくろ開始時のみ塗布， 無：塗布せず。

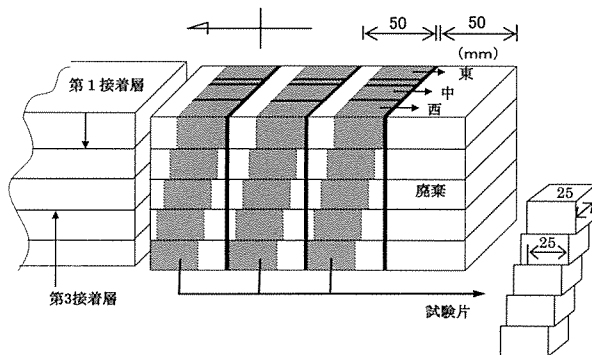


図1 ブロックせん断試験片の採取方法と採取位置

理とする)も2種類の接着剤で作製し、試験に供した。

木材保護塗料(以下保護塗料とする)は、(株)コシプレザービング製のステンプルーフを使用し、①2年ごとに塗布、②ばくろ開始時のみ塗布、③無塗布、の3条件を設定した。ただし、薬剤無処理は①および③のみとした。

これらスギ集成材は、木口面を南に向け、高さ約1000mmのばくろ台に、接着層を水平にして設置した。所定年数の経過後に、順次南面より長さ220mmの試験体を採取しており、今回はばくろ5年後にあたる。採取した試験体は、6ヵ月間20°C65%RHの恒温恒湿室中に放置した後、図1および表1に示すとおり、ブロックせん断試験片を採取した。各条件での採取試験片数は27個もしくは18個であり、東、中、西は、それぞれ同数(9個もしくは6個)である。試験した接着層数は、基本的には(試験片数×4)である。これら試験片は、さらに6ヵ月間恒温恒湿室中に放置し、構造用集成材の日本農林規格(以下JASとする)に準拠して、ブロックせん断試験を行った。せん断強度、木部破断率、および含水率を測定した。

また、木部破断率による構造用接着剤の耐久性評価では、接着層から離れた木材部分での破壊が好ましいとされることから<sup>7)</sup>、Winandy等<sup>1)</sup>が提唱する深木部破断率を測定した。測定に際しては、目視で接着層が確認できない部分を、深木部破断と判定した。なお、接着はく離によりせん断強度が測定できなかった接着層については、せん断強度を0とした。

### 3 結果および考察

#### 3.1 せん断強度

##### 3.1.1. ばくろ期間とせん断強度との関係

図2に、PRF接着剤を使用し、保護塗料を2年ごとに塗布したスギ集成材の、ばくろ期間(0、1、3、5年)とせん断強度との関係を、図3には同じくAPI接着剤を使用した結果を示した。

ACQで処理し(以下ACQ処理という)、PRF接着剤で製造したスギ集成材(以下「ACQ処理-PRF接着剤」等と記す)では、せん断強度の低下が観察された。「ACQ処理-API接着剤」では、緩やかな低下が観察された。一方その他の条件では、ばくろ5年後においても明確なせん断強度の低下は観察されなかった。これらの結果は、促進劣化処理(減圧加圧試験)で得られた結果<sup>8)</sup>と類似している。すなわち促進劣化処理でも、「ACQ処理-PRF接着剤」が最もせん断強度の低下が大きく、「ACQ処理-PRF接着剤」は、「ACQ処理-API接着剤」よりもせん断強度の低下が大きかった。

薬剤無処理で保護塗料が無塗布のスギ集成材でも、PRF接着剤およびAPI接着剤とも上記と同様の結果が得られた。図4には、PRF接着剤を使用したスギ集成材の、せん断強度とばくろ期間との関係を示す。「AZP処

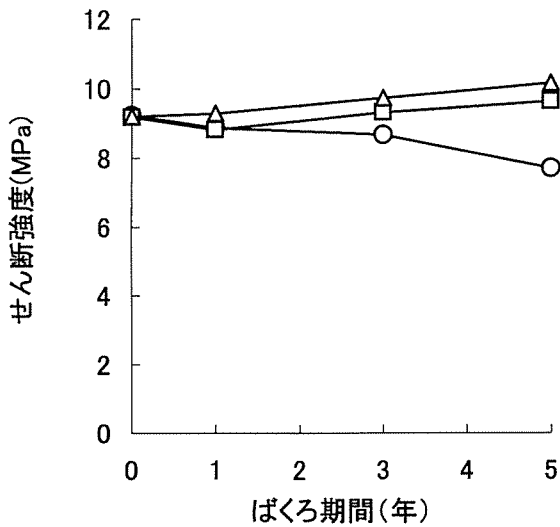


図2 ばくろ期間とせん断強度との関係(1)

注：木材保護塗料を2年ごとに塗布。値は平均値。  
 接着剤はフェノール・レゾルソール共縮合樹脂。  
 ○：ACQ処理，□：AZP処理，△：無処理。

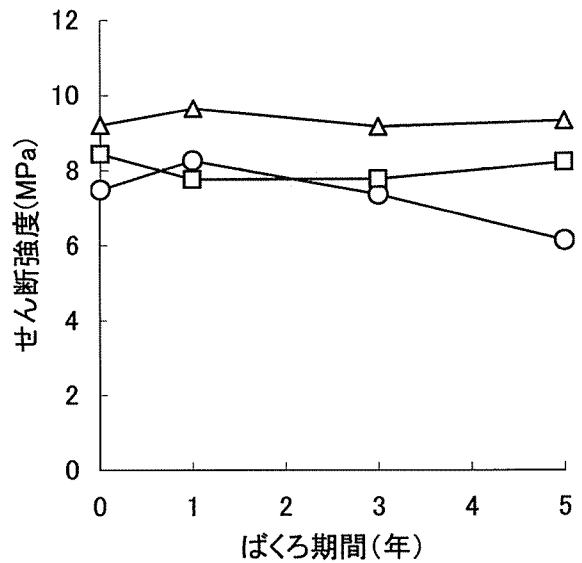


図4 ばくろ期間とせん断強度との関係(3)

注：木材保護塗料は塗布せず。値は平均値。  
 接着剤はフェノール・レゾルソール共縮合樹脂。  
 ○,□,△：図2を参照。

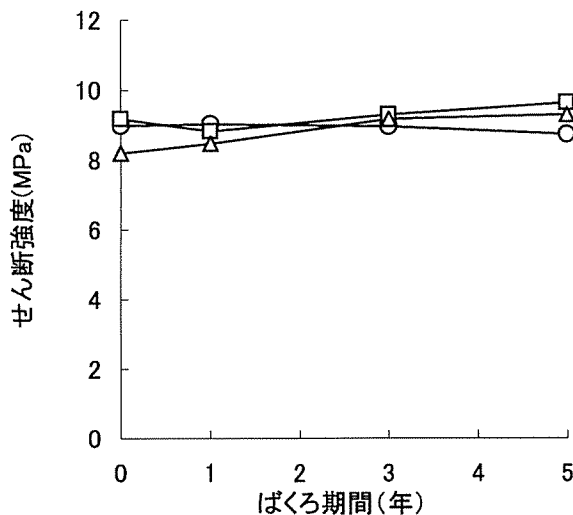


図3 ばくろ期間とせん断強度との関係(2)

注：木材保護塗料を2年ごとに塗布。値は平均値。  
 接着剤は水性高分子インゾート系樹脂。  
 ○,□,△：図2を参照。

理-PRF接着剤」および「薬剤無処理-PRF接着剤」では、ばくろ期間の増加に伴う明確なせん断強度の低下は観察されなかった。

宮崎等<sup>9)</sup>は、ACQがPRF接着剤やAPI接着剤の接着性能に悪影響を及ぼしたことを報告していることを考慮すると、ACQで処理したスギ集成材では、主にACQの影響によりせん断強度が低下したと推測される。

一方、無処理で無塗布のスギ集成材であっても、ばくろ5年後ではせん断強度が低下していないことから、表層付近を除き、それらの内部は全体的には劣化してい

いと言えよう。この点に関しては、他の樹種では異なる結果も報告されている。

菅野等<sup>9)</sup>は、PRF接着剤を使用してエゾマツ集成材を製造した後に、CCAもしくはクレオソートで集成材を処理し、薬剤無処理とともに、国内の3箇所(札幌、八王子および高知)で屋外ばくろ試験を実施した。その結果八王子や高知では、保護塗料が無塗布で薬剤無処理のエゾマツ集成材のせん断強度は、ばくろ5年後にはばくろ前の50~60%に低下したことを報告している。この低下の原因として、腐朽等木材の劣化を指摘していることから、集成材の接着耐久性は、木材の耐久性と関係していると考えられる。試験体作製条件およびばくろ環境は同一ではないものの、5年間のばくろ期間におけるスギ集成材(薬剤無処理)のせん断強度の推移と、同じくエゾマツ集成材(薬剤無処理)のせん断強度の推移とは、明らかに異なっていると考えられ、両者の差は既に報告されている<sup>10)</sup>、屋外でのエゾマツ材とスギ材との耐久性の差を反映しているとも言える。これらのことや、スギ辺材は薬剤の注入性が比較的良好であることを考慮すると、屋外環境下で使用する集成材等では、スギの使用は有望と考えられる。

なお含水率は、いずれの試験片も12%前後であった。

### 3.1.2 ばくろ5年後の薬剤別および接着剤別せん断強度

表2に、保護塗料の塗布条件別および薬剤の種類別に、ばくろ5年後のせん断強度を示した。

PRF接着剤およびAPI接着剤を使用したスギ集成材のせん断強度平均値は、2年ごとに塗布および無塗布では、

いずれも、薬剤無処理→AZP処理→ACQ処理の順に、ばくろ開始時のみ塗布では、AZP処理→ACQ処理の順に低下した。このように両接着剤とも、保護塗料の塗布条件にかかわらず、ACQ処理が最も低いせん断強度平均値を示した。

一方、保護塗料の塗布条件ごとに、薬剤間でせん断強度平均値の差を比較すると、いずれの塗布条件でも、PRF接着剤よりもAPI接着剤の方が差はより小さかった。これよりAPI接着剤では、薬剤が接着耐久性に及ぼす影響は、PRF接着剤よりも小さいと言える。

### 3.1.3 試験片採取部位別のせん断強度

表3に、ばくろ5年後のせん断強度を、試験片の採取部位別（図1を参照）に示した。

東および西から採取した試験片の接着層は、雨水や日光に直接さらされていたことから、中から採取した試験片よりも低いせん断強度を示すと予想される。保護塗料無塗布ではこの傾向が見られ、PRF接着剤およびAPI接着剤を使用したスギ集成材とも、薬剤の種類にかかわらず、中から採取した試験片のせん断強度平均値が最も高かった。

一方2年ごとに塗布およびばくろ開始時のみ塗布では、中から採取した試験片のせん断強度平均値は、必ずしも東もしくは西のせん断強度平均値よりも高くはなかった。

以上の結果より、保護塗料の塗布により接着層の劣化が抑止されたと言える。

### 3.1.4 接着層別のせん断強度

ばくろ5年後では、スギ集成材上面（水平面）に多数の割れが発生しており、上部接着層のせん断強度は、下部接着層より低下している可能性がある。そこで、上面から数えて一番目の接着層（図1を参照、以下第1接着層

層とする）および三番目の接着層（以下第3接着層とする）の、せん断強度平均値を表4に示した。

「ACQ処理-PRF接着剤」の2年ごとに塗布では、第1接着層のせん断強度平均値が5.9MPaであったのに対し、第3接着層は8.5MPaであった。この差が生じた原因は、同条件の3体の集成材のうち1体で、西面の第1接着層にはく離が発生したためと考えられる。しかしこのく離は、集成材上面に発生した割れの影響とは考え難い。

一方他の条件では、PRF接着剤およびAPI接着剤とも、保護塗料の塗布条件および薬剤の処理条件にかかわらず、第1接着層と第3接着層との間で、せん断強度平均値に顕著な差は認められなかった。このことから、集成材上面に発生した割れは、ばくろ5年後においては、接着耐久性を損なう主たる要因とはなっていないと考えられる。

### 3.1.5 木材保護塗料の効果

表2より、保護塗料とせん断強度平均値との関係を薬剤の種類別に調べると、PRF接着剤およびAPI接着剤とも、ACQ処理およびAZP処理では、2年ごとに塗布→ばくろ開始時のみ塗布→無塗布、の順にせん断強度平均値は低かった。また薬剤無処理では、2年ごとに塗布→無塗布、の順に低かった。このことより、保護塗料の塗布は接着耐久性の向上に有効な措置と考えられる。

木材保護塗料の効果は、スギ集成材の表層劣化を比較するとより明白であり、薬剤無処理の無塗布では、表層の劣化に加えて、一部の試験体では昆虫の穿孔や局所的な木材腐朽が観察されたのに対し、2年ごとに塗布では、上面の割れを除き目立った劣化は観察されず、また昆虫の穿孔も見られなかった。今後、特に薬剤無処理の無塗布では表層劣化が一層進行すると予想されるため、保護

表2 屋外ばくろ5年後のせん断強度(1)

木材保護塗料		2年ごとに塗布			ばくろ開始時のみ塗布			無塗布		
		ACQ	AZP	無処理	ACQ	AZP	無処理	ACQ	AZP	無処理
木材保存剤 <sup>1)</sup>										
	Max (MPa)	12.7	14.3	13.5	10.3	12.3	—	9.0	10.2	12.5
	Avg. "	7.7	9.6	10.2	6.5	8.6	—	6.1	8.2	9.3
PRF <sup>2)</sup>	Min "	0.0	6.2	5.4	0.0	1.4	—	0.7	5.7	0.0
	SD "	2.4	1.6	1.6	2.3	1.9	—	1.5	1.1	1.5
	CV (%)	31	16	16	35	22	—	25	13	17
	Max (MPa)	11.5	12.8	12.4	11.2	12.7	—	10.2	10.4	13.3
	Avg. "	8.7	9.2	9.3	8.5	8.9	—	7.1	8.1	8.7
API <sup>2)</sup>	Min "	5.8	5.7	0.0	6.0	2.4	—	3.3	5.4	0.0
	SD "	1.2	1.5	2.0	1.2	1.7	—	1.5	1.1	2.3
	CV (%)	14	16	22	14	19	—	22	13	26

注：1), 2)：表1を参照。

塗料の効果は、より明白に観察されるものと推測される。

3.2 木部破断率および深木部破断率

表5に、ばくろ5年後の木部破断率を示す。

ばくろ3年後までは、ほとんどの試験片の木部破断率の平均値は100%であった<sup>3)</sup>ものの、ばくろ5年後では低下が観察された。PRF接着剤およびAPI接着剤とも低下

しており、両接着剤の間で顕著な差は認められず、保護塗料の塗布条件による違いは認められなかった。現時点では、木部破断率を接着耐久性の指標とするのは適当ではないと考えられる。

表6に、ばくろ5年後の深木部破断率の結果を示す。

「ACQ処理-PRF接着剤」では、深木部破断率の平

表3 屋外ばくろ5年後のせん断強度(2)採取部位別

木材保護塗料		2年ごとに塗布			ばくろ開始時のみ塗布			無塗布		
		西	中	東	西	中	東	西	中	東
試験片採取部位 <sup>1)</sup>										
接着剤 <sup>2)</sup>		PRF								
ACQ <sup>3)</sup>	Max(MPa)	10.1	12.3	12.7	10.3	9.4	10.3	7.5	9.0	8.6
	Avg "	7.0	7.9	8.2	6.0	6.6	7.1	5.5	6.9	5.9
	Mi "	0.0	0.0	5.7	1.0	0.0	0.0	0.7	4.1	1.1
	SD "	2.5	2.7	1.6	2.4	1.9	2.5	1.5	1.1	1.7
	CV (%)	36	35	20	40	30	35	27	16	28
AZP	Max (MPa)	12.0	12.3	14.3	11.9	9.4	11.5	8.9	9.0	9.4
	Avg "	9.1	9.1	10.3	8.6	8.9	8.1	7.6	9.0	8.0
	Min "	6.2	0.0	7.1	1.9	0.0	1.4	5.7	4.1	6.1
	SD "	1.4	2.7	1.6	1.8	1.9	1.9	1.1	1.1	1.0
	CV (%)	15	35	16	21	30	23	14	16	12
無処理	Max (MPa)	13.0	13.1	13.5	—	—	—	10.9	12.5	10.9
	Avg. "	10.1	9.8	10.5	—	—	—	8.6	9.8	9.5
	Min "	8.0	7.4	5.4	—	—	—	0.0	7.8	8.4
	SD "	1.2	1.6	1.9	—	—	—	2.1	1.4	0.7
	CV (%)	12	16	18	—	—	—	24	14	7
接着剤		API								
ACQ	Max (MPa)	10.8	10.0	10.9	11.2	10.3	10.8	9.8	10.0	10.2
	Avg "	8.5	7.4	8.7	8.7	8.2	8.6	6.4	7.4	7.6
	Min "	5.8	5.3	6.3	6.0	6.4	6.2	3.3	5.3	5.3
	SD "	1.3	1.4	1.1	1.3	1.1	1.2	1.7	1.4	1.4
	CV (%)	16	19	12	15	13	14	26	19	18
AZP	Max (MPa)	11.5	12.3	12.8	12.3	12.7	11.4	10.4	10.4	10.0
	Avg "	8.9	9.3	9.4	9.1	9.0	8.6	8.4	8.4	8.1
	Min "	6.9	6.5	5.7	6.5	2.4	5.1	5.5	5.5	6.3
	SD "	1.1	1.4	1.8	1.7	1.8	1.5	1.2	1.2	1.0
	CV (%)	13	15	20	18	20	17	14	14	13
無処理	Max (MPa)	11.5	12.3	12.8	12.3	12.7	11.4	10.4	10.4	10.0
	Avg "	9.2	9.4	9.4				8.8	9.4	9.4
	Min "	0.0	5.7	5.7				5.8	6.5	6.5
	SD "	2.3	1.5	1.5				1.2	1.6	1.6
	CV (%)	25	16	16				14	17	17

注：1)：図1を参照。2)：表1を参照。3)：試験片採取部位の間でせん断強度を比較した。記号は表2を参照。

均値は、保護塗料の塗布条件にかかわらず、AZP処理および薬剤無処理よりも低かった。深木部破断率が低いことは、接着層界面付近での破壊がより多かったことを示唆している。既に記したように、「ACQ処理-PRF接着剤」ではせん断強度の低下が観察されたことを考慮すると、深木部破断率は、接着耐久性の差を反映していると考えられる。

引用文献

1) Jarrold E. Winandy et.al.: Evaluation of a method for testing adhesive-preservative

表4 屋外ばくろ5年後の接着層別せん断強度

接着剤 <sup>1)</sup>	PRF		API	
	2年	無	2年	無
木材保護塗料 <sup>2)</sup>				
ACQ <sup>3)</sup> 第1接着層 <sup>4)</sup> (MPa)	5.9	6.2	8.8	7.2
第3接着層	8.5	6.6	8.7	7.4
AZP 第1接着層 (MPa)	9.6	7.8	9.2	7.5
第3接着層	9.4	8.4	9.5	8.7
無処理 第1接着層 (MPa)	9.6	8.4	9.6	8.4
第3接着層	10.0	8.9	10.0	8.9

注：いずれも平均値。1,2,3)：表1を参照。4)：図1を参照

compatibility. Forest Products Journal. 36 (1), 27-32 (1986)

2) Charles B. Vick et.al.: Compatibility of nonacidic waterborne preservatives with phenol-formaldehyde adhesive. Forest Products Journal. 40 (2), 16-22 (1990)

3) 和田 博・高橋真紀子・藪岡貞治：防腐剤を加圧注入処理したラミナを使用した集成材の接着性能（第1報）JASによる3種類のはくろ試験5回繰り返し：奈良県林誌研報. 28, 30-36 (1999)

4) 満名香織、和田 博：屋外ばくろ試験による集成材の接着耐候性評価（第1報）. 奈良県森技セ研報. 32, 83-87 (2003)

5) 宮崎祐子、和田 博：屋外ばくろ試験による集成材の接着耐候性評価（第2報）接着耐候性評価に要する期間の短縮のための促進劣化試験. 奈良県森技セ研報. 34, 97-102 (2005)

6) 宮崎祐子、和田 博：屋外ばくろ試験による集成材の接着耐候性評価（第3報）屋外ばくろ試験開始から3年経過後の結果. 奈良県森技セ研究報告. 34, 103-109 (2005)

7) Charles B.Vick: "9. Adhesive bonding of Wood materials". Wood Handbook. Madison

表5 屋外ばくろ5年後の深木部破断率

木材保護塗料	2年ごとに塗布			ばくろ開始時のみ塗布			無塗布		
	ACQ	AZP	無処理	ACQ	AZP	無処理	ACQ	AZP	無処理
木材保存剤 <sup>1)</sup>									
PRF <sup>2)</sup>	Max (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
	Avg (%)	86	93	86	83	92	83	91	88
	Min (%)	60	70	60	50	70	10	40	50
API	Max (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
	Avg (%)	87	82	84	84	87	72	83	79
	Min (%)	20	30	20	30	50	10	10	0

注：1), 2)：表1を参照。

表6 屋外ばくろ5年後の深木部破断率

木材保護塗料	2年ごとに塗布			ばくろ開始時のみ塗布			無塗布		
	ACQ	AZP	無処理	ACQ	AZP	無処理	ACQ	AZP	無処理
木材保存剤 <sup>1)</sup>									
PRF <sup>2)</sup>	Max (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
	Avg (%)	34	47	47	33	47	26	36	40
	Min (%)	0	0	10	0	0	0	0	10
API	Max (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
	Avg (%)	54	41	53	40	52	33	40	57
	Min (%)	0	0	0	0	0	0	0	0

注：1), 2)：表1を参照。

- Winsconsin, Forest Products Laboratory, 2004, 21.
- 8) 宮崎淳子、中野隆人、平林 靖、岸野正典：接着性能に及ぼす防腐薬剤の影響. 木材学会誌. 45 (1), 34-41 (1999)
- 9) 菅野蓑作、森屋和美：エゾマツ集成材の耐候性. 木材工業. 38 (11), 530-533 (1983)
- 10) 松岡昭四郎、雨宮昭二、庄司要作、井上 衛、阿部寛、内藤三夫：各樹種の野外試験による耐久性調査結果. 林業試験場研究報告. No.232, 109(1970)

(2006年12月 5 日受理)